

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Takahiro HORIKOSHI ET AL.

GAU:

SERIAL NO: NEW APPLICATION

EXAMINER:

FILED: HEREWITH

FOR: EXPOSURE METHOD, EXPOSURE APPARATUS AND MAKING METHOD OF THE APPARATUS,  
AND DEVICE AND MANUFACTURING METHOD OF THE DEVICE

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS  
WASHINGTON, D.C. 20231

10825 U.S. PTO  
09/680513  
10/06/00

#4  
1/30/01  
M. L. Liden

SIR:

- ☒ Full benefit of the filing date of International Application Number PCT/JP99/01802, filed April 6, 1999, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119 and 35 U.S.C. §120 as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	10-111406	APRIL 7, 1998
JAPAN	10-125272	APRIL 20, 1998

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ is submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and  
(B) Application Serial No.(s)
- ☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee



22850

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

Gregory J. Maier  
Registration No. 25,599

ROBERT T. POUS  
REGISTRATION NUMBER 29,099



日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

Jc825 U.S. PRO  
09/680513  
10/06/00

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。  
This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application:

1998年 4月 7日

出 願 番 号  
Application Number:

平成10年特許願第111406号

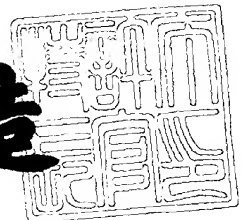
出 願 人  
Applicant (s):

株式会社ニコン

2000年 7月14日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3055166

【書類名】 特許願

【整理番号】 97P02170

【提出日】 平成10年 4月 7日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明の名称】 露光量制御方法及び露光装置

【請求項の数】 9

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社 ニコ  
ン内

【氏名】 堀越 崇広

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社 ニコン

【代理人】

【識別番号】 100102901

【弁理士】

【氏名又は名称】 立石 篤司

【電話番号】 03-3354-4251

【代理人】

【識別番号】 100099793

【弁理士】

【氏名又は名称】 川北 喜十郎

【電話番号】 03-5362-3180

【手数料の表示】

【納付方法】 予納

【予納台帳番号】 053132

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【書類名】 明細書

【発明の名称】 露光量制御方法及び露光装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光源からの露光光で照明されたパターンを基板上に転写する光学系を備える露光装置の露光量制御方法であって、

露光条件に応じて前記光学系の透過率の測定間隔を設定し、

前記設定された測定間隔で前記透過率測定を実行するとともに、次の透過率測定までの間は、その前に測定された透過率に応じて露光量を制御することを特徴とする露光量制御方法。

【請求項 2】 前記露光条件には、マスクの透過率が含まれることを特徴とする請求項 1 に記載の露光量制御方法。

【請求項 3】 前記露光条件には、最小線幅又は露光量許容誤差が含まれることを特徴とする請求項 1 に記載の露光量制御方法。

【請求項 4】 光源からの露光光で照明されたパターンを基板上に転写する光学系を備える露光装置の露光量制御方法であって、

所定の測定間隔で前記光学系の透過率測定を実行してその測定された透過率に基づいて露光量を制御するとともに、前記透過率測定で得られた透過率と前回の透過率測定で得られた透過率との変動量に応じて次回以降の前記透過率の測定間隔を変更することを特徴とする露光量制御方法。

【請求項 5】 光源からの露光光で照明されたマスクのパターンを光学系を用いて基板上に転写する露光装置であって、

前記マスクに照射される前記露光光の光量を検出する第 1 の光センサと；

前記マスクのパターンの前記基板への転写中、露光量制御目標値と前記第 1 の光センサの出力とに基づいて露光量を制御する露光量制御系と；

前記基板が載置される基板ステージと；

前記基板ステージ上に設けられ、前記光学系を通過した前記露光光の光量を検出するための第 2 の光センサと；

露光条件に応じたタイミングで前記基板ステージ上の前記第 2 の光センサを用いて前記光学系を通過した前記露光光の光量を検出し、該光量と前記第 1 の光セ

ンサの出力とに基づいて前記光学系の透過率を求め、この求めた透過率に応じて前記露光量制御目標値を更新する制御装置とを備える露光装置。

【請求項 6】 前記制御装置は、前記マスクの透過率に応じたタイミングで前記露光量制御目標値を更新するための前記光学系を通過した前記露光光の光量検出を実行することを特徴とする請求項 5 に記載の露光装置。

【請求項 7】 前記制御装置は、最小線幅又は露光量許容誤差を考慮したタイミングで前記露光量制御目標値を更新するための前記光学系を通過した前記露光光の光量検出を実行することを特徴とする請求項 5 に記載の露光装置。

【請求項 8】 光源からの露光光で照明されたパターンを光学系を介して基板上に転写する露光装置であって、

前記光学系の透過率を測定する透過率測定装置と；

前記透過率測定装置で測定された透過率と露光量制御目標値とに基づいて、露光量を制御する露光量制御系と；

露光条件に応じて前記露光量制御目標値を更新設定する制御装置と；

を備える露光装置。

【請求項 9】 光源からの露光光で照明されたパターンを光学系を介して基板上に転写する露光装置であって、

前記光学系の透過率を測定する透過率測定装置と；

前記透過率測定装置で測定された透過率と露光量制御目標値とに基づいて、露光量を制御する露光量制御系と；

前記透過率測定装置で測定された透過率と前回に測定した透過率との変動量に応じて前記透過率測定装置における透過率の測定間隔を設定する制御装置と；

を備える露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、露光量制御方法及び露光装置に係り、更に詳しくは、半導体素子、液晶表示素子等を製造するに際しフォトリソグラフィ工程で用いられる露光装置及び該露光装置の露光量制御方法に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来より、半導体素子又は液晶表示素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程では、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）やこのステッパに改良を加えたステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ）等の投影露光装置が主として用いられている。

## 【0003】

この種の投影露光装置を構成する投影光学系の解像力は、Rayleighの式で良く知られているように、 $R = k \times \lambda / N.A.$  の関係で表される。ここで、 $R$ は投影光学系の解像力、 $\lambda$ は露光光の波長、 $N.A.$ は投影光学系の開口数、 $k$ はレジストの解像力の他にプロセスによって決定される定数である。

## 【0004】

半導体素子の高集積化に伴い、投影光学系に要求される解像力はますます微細化し、これを実現するため、上式からも分かるように、露光光の短波長化や投影光学系の開口数を大きくする、いわゆる、高 $N.A.$ 化への努力が続けられている。近年では、248nmの出力波長を持つ弗化クリプトンエキシマレーザ（KrFエキシマレーザ）を露光用光源として、投影光学系の開口数も0.6以上の露光装置が実用化され、デバイスルール（実用最小線幅）0.25 $\mu m$ の露光が実現されている。

## 【0005】

上述した従来の投影露光装置においては、露光光の照射によって光学系の透過率は変化しないとの前提の下、露光量制御は、次のようにして行われていた。すなわち、予め、投影光学系の前側でレチクルに照射される露光光の光量を照明光学系内に配置された光量モニタ（インテグレータセンサと呼ばれる）で測定するとともに、投影光学系の後側でレチクル及び投影光学系を透過した露光光の光量をウエハステージ上の光量モニタ、例えば照度計で測定し、インテグレータセンサと照度計の出力比を求めておく。そして、露光の際は、前記出力比を用いてインテグレータセンサの出力値からウエハ面（像面）の照度を推定し、この像面照度



が所望の値となるように露光量をフィードバック制御する。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

最近では弗化クリプトンエキシマレーザに続く光源として、193nmの出力波長を持つ弗化アルゴンエキシマレーザ（ArFエキシマレーザ）が注目されてきている。この弗化アルゴンエキシマレーザを露光用光源とする露光装置が実用化されれば、デバイスルール0.18 $\mu$ m～0.13 $\mu$ mまで及ぶ微細なパターンを有するマイクロデバイスの大量生産が可能となることが期待されており、精力的な研究開発が盛んに行われている

【0007】

しかしながら、露光用光源としてArFエキシマレーザを用いる露光装置にあっては光学系（照明光学系及び投影光学系）の透過率が露光光の照射によって無視できないレベルで変化するという事実が判明した。最近の研究によると、光学系の透過率は、露光光の照射開始後徐々に増加してあるレベルまで増加すると飽和状態に達する、という特徴のあることがわかっている。

【0008】

すなわち、このような変化は、レンズ等の光学素子の表面に付着した水分や有機物がArFエキシマレーザ光の照射によって光学系表面から取除かれる、洗浄効果によるものと考えられる。かかる洗浄効果は、KrFエキシマレーザ光の場合にも生じていたものと思われるが、ArFエキシマレーザ光の場合は、水等に対する透過率が低いため、水滴等がある場合と無い場合とで透過率の差が大きく、KrFエキシマレーザ光の場合にはそれ程大きくないために問題とならなかったものと思われる。

【0009】

光学系の透過率は露光光の照射によって変化しないことを前提とした上述した従来の露光量制御方法をそのまま採用できなくなってきた。かかる場合の対応策として、予め露光時と同一の照明条件下で透過率の時間変化を計測して、その透過率時間変化曲線を求め、露光時には照射開始時からの経過時間と、照射停止時間とをタイマーにより計測し、この時間データと上記透過率時間変化曲線とを用

いて透過率を演算にて推定し、この演算結果とインテグレータセンサの出力に基づいて像面照度を推定して、この像面照度が所望の値となるように露光量を制御する手法が考えられる。

【0010】

しかしながら、かかる手法では、上記の複雑な演算が必須となるという不都合があるのに加え、演算にて推定した値が現実の透過率とほぼ一致するとは限らないという不都合をも有している。

【0011】

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、透過率推定のための複雑な演算を行うことなく、像面照度を常に所望の値に設定することができる露光量制御方法を提供することにある。

【0012】

本発明の第2の目的は、透過率推定のための複雑な演算を行うことなく、かつスループットを不必要に低下させることなく、しかも高精度な露光量制御が可能な露光量制御方法を提供することにある。

【0013】

また、本発明の第3の目的は、光学系の透過率変動の影響を受けることなく、高精度な露光を実現することができる露光装置を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】

請求項1に記載の発明は、光源(16)からの露光光(EL)で照明されたパターンを基板(W)上に転写する光学系(28A、28B、32、PL)を備える露光装置の露光量制御方法であって、露光条件に応じて前記光学系の透過率の測定間隔を設定し、前記設定された測定間隔で前記透過率測定を実行するとともに、次の透過率測定までの間は、その前に測定された透過率に応じて露光量を制御することを特徴とする。

【0015】

これによれば、露光条件に応じて光学系の透過率の測定間隔を設定し、設定された測定間隔で透過率測定を実行する。そして、次の透過率測定までの間は、そ

の前に測定された透過率に応じて露光量を制御しながら、光源からの露光光で照明されたパターンを基板上に光学系を介して転写する。このように、本発明によれば、露光条件に応じて設定された測定間隔で光学系の透過率を測定しながら、実際に測定された透過率に基づいて露光量が制御されるため、露光条件によらず、基板面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定して露光を行うことができ、しかも透過率推定のための複雑な演算も不要である。

【0016】

この場合において、露光条件は光学系の透過率の測定間隔を設定する基準となる条件であり、この露光条件には光学系の透過率に影響を与える全てのものが含まれる。例えば請求項2に記載の発明の如く、前記露光条件には、マスク（R）の透過率が含まれていても良く、あるいは請求項3に記載の発明の如く、前記露光条件には、最小線幅又は露光量許容誤差が含まれていても良い。

【0017】

請求項4に記載の発明は、光源（16）からの露光光（EL）で照明されたパターンを基板（W）上に転写する光学系（28A、28B、32、PL）を備える露光装置の露光量制御方法であって、所定の測定間隔で前記光学系の透過率測定を実行してその測定された透過率に基づいて露光量を制御するとともに、前記透過率測定で得られた透過率と前回の透過率測定で得られた透過率との変動量に応じて次回以降の前記透過率の測定間隔を変更することを特徴とする。

【0018】

これによれば、所定の測定間隔で光学系の透過率測定が実行され、その測定された透過率に基づいて露光量が制御される。このように、実際に測定された透過率に基づいて露光量が制御されるため、透過率推定のための複雑な演算を行うことなく、基板面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定することができる。また、この場合、透過率測定で得られた透過率と前回の透過率測定で得られた透過率との変動量に応じて次回以降の透過率の測定間隔が変更されることから、透過率を頻繁に測定する必要がある透過率の変化率が大きい期間では透過率測定間隔を小さくし、反対の場合には透過率測定間隔を大きくすることにより、スループットを不必要に低下させることなく、しかも高精度な露光量制御を実

現することができる。

【0019】

請求項5に記載の発明は、光源(16)からの露光光(EL)で照明されたマスク(R)のパターンを光学系(28A、28B、32、PL)を用いて基板(W)上に転写する露光装置であって、前記マスクに照射される前記露光光の光量を検出する第1の光センサ(46)と；前記マスクのパターンの前記基板への転写中、露光量制御目標値と前記第1の光センサの出力とに基づいて露光量を制御する露光量制御系(50)と；前記基板が載置される基板ステージ(58)と；前記基板ステージ上に設けられ、前記光学系を通過した前記露光光の光量を検出するための第2の光センサ(59)と；露光条件に応じたタイミングで前記基板ステージ上の前記第2の光センサを用いて前記光学系を通過した前記露光光の光量を検出し、該光量と前記第1の光センサの出力とに基づいて前記光学系の透過率を求め、この求めた透過率に応じて前記露光量制御目標値を更新する制御装置(50)と；を備える。

【0020】

これによれば、マスクに露光光が照射される間、マスクに照射される露光光の光量が第1の光センサによって検出される。また、マスクのパターンの基板への転写中、露光量制御系によって露光量制御目標値と第1の光センサの出力とに基づいて露光量が制御される。このようにして、露光量を制御してマスクのパターンの基板への転写動作が行われるが、露光条件に応じた所定のタイミングになると、制御装置では、基板ステージ上の第2の光センサを用いて光学系を通過した露光光の光量を検出し、該光量と第1の光センサの出力とに基づいて光学系の透過率を求め、この求めた透過率に応じて露光量制御目標値を更新する。この結果、この更新された露光量制御目標値と第1の光センサの出力とに基づいて、露光量制御系によってパターン転写中の露光量が制御される。これにより、光学系の透過率変動の影響を受けることなく、高精度な露光を実現することができる。

【0021】

この場合において、露光量制御目標値を更新するための光学系を通過した露光光の光量検出を実行するタイミングは、光学系の透過率に影響を与える露光条件

に応じて決定すれば良く、例えば請求項 6 に記載の発明の如く、前記制御装置（50）は、前記マスク（R）の透過率に応じたタイミングで前記露光量制御目標値を更新するための前記光学系を通過した前記露光光の光量検出を実行するようにしても良く、あるいは請求項 7 に記載の発明の如く、前記制御装置は、最小線幅又は露光量許容誤差を考慮したタイミングで前記露光量制御目標値を更新するための前記光学系を通過した前記露光光の光量検出を実行するようにしても良い。

#### 【0022】

請求項 8 に記載の発明は、光源（16）からの露光光（EL）で照明されたパターンを光学系（28A、28B、32、PL）を介して基板（W）上に転写する露光装置であって、前記光学系の透過率を測定する透過率測定装置（46、59、50）と；前記透過率測定装置で測定された透過率と露光量制御目標値とに基づいて、露光量を制御する露光量制御系（50）と；露光条件に応じて前記露光量制御目標値を更新設定する制御装置（50）と；を備える。

#### 【0023】

これによれば、透過率測定装置によって光学系の透過率が測定される。また、パターンの転写に際しては、露光量制御系によって、露光量制御目標値と透過率測定装置で測定された透過率とに基づいて、露光量が制御される。そして、制御装置では、露光条件に応じて露光量制御目標値を更新設定する。すなわち、本発明によれば、露光処理動作の実行の途中で、露光条件が変更されると、制御装置によってその変更後の露光条件に応じて露光量制御目標値が更新設定され、この更新後の露光量制御目標値と透過率測定装置で測定された透過率とに基づいて露光量が制御される。従って、露光条件の変更によらず、かつ透過率変動の影響を受けることなく、高精度な露光を行うことができる。

#### 【0024】

請求項 9 に記載の発明は、光源（16）からの露光光（EL）で照明されたパターンを光学系（28A、28B、32、PL）を介して基板（W）上に転写する露光装置であって、前記光学系の透過率を測定する透過率測定装置（46、59、50）と；前記透過率測定装置で測定された透過率と露光量制御目標値とに

に基づいて、露光量を制御する露光量制御系（５０）と；前記透過率測定装置で測定された透過率と前回に測定した透過率との変動量に応じて前記透過率測定装置における透過率の測定間隔を設定する制御装置（５０）と；を備える。

【００２５】

これによれば、透過率測定装置によって光学系の透過率が測定される。また、パターンの転写に際しては、露光量制御系によって、その測定された透過率と露光量制御目標値とに基づいて露光量が制御される。このように、実際に測定された透過率に基づいて露光量が制御されるため、透過率推定のための複雑な演算を行うことなく、基板面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定することができる。また、この場合、制御装置により、透過率測定装置で測定された透過率と前回に測定した透過率との変動量に応じて透過率測定装置における透過率の測定間隔が設定される。このため、透過率を頻繁に測定する必要がある透過率の変化率が大きい期間では透過率測定間隔を小さくし、反対の場合には透過率測定間隔を大きくすることにより、スループットを不必要に低下させることなく、しかも高精度な露光量制御を実現することができる。

【００２６】

【発明の実施の形態】

《第１の実施形態》

以下、本発明の第１の実施形態を図１ないし図３に基づいて説明する。

【００２７】

図１には、第１の実施形態の露光装置１０の概略構成が示されている。この露光装置１０は、露光用光源にＡｒＦエキシマレーザ光源（発振波長１９３ｎｍ）を用いたステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置である。

【００２８】

この走査型露光装置１０は、光源１６及び照明光学系１２から成る照明系、この照明系からの露光光ＥＬにより照明されるマスクとしてのレチクルＲを保持するレチクルステージＲＳＴ、レチクルＲから射出された露光光ＥＬを基板としてのウエハＷ上に投射する投影光学系ＰＬ、ウエハＷを保持する基板ステージとしてのＺチルトステージ５８が搭載されたＸＹステージ１４、及びこれらの制御系

等を備えている。

【0029】

光源16としては、本実施形態ではArFエキシマレーザ光源（発振波長193nm）が用いられている。この光源16は、実際には、照明光学系12の各構成要素及びレチクルステージRST、投影光学系PL、及びXYステージ14等から成る露光装置本体が収納されたチャンバ11が設置されたクリーンルームとは別のクリーン度の低いサービスルームに配置されており、チャンバ11に不図示のビームマッチングユニットを介して接続されている。なお、光源としてKrFエキシマレーザ光源（発振波長248nm）、あるいはF<sub>2</sub>エキシマレーザ光源（発振波長157nm）その他のパルス光源を用いても良い。

【0030】

図2には、光源16の内部が、主制御装置50とともに示されている。光源16は、レーザ共振器16a、ビームスプリッタ16b、エネルギーモニタ16c、エネルギーコントローラ16d及び高圧電源16e等を有する。

【0031】

レーザ共振器16aからパルス的に放出されたレーザビームLBは、透過率が高く僅かな反射率を有するビームスプリッタ16bに入射し、ビームスプリッタ16bを透過したレーザビームLBが外部に射出される。また、ビームスプリッタ16bで反射されたレーザビームLBが光電変換素子より成るエネルギーモニタ16cに入射し、エネルギーモニタ16cからの光電変換信号が不図示のピークホールド回路を介して出力ESとしてエネルギーコントローラ16dに供給されている。

【0032】

通常の発光時には、エネルギーコントローラ16dは、エネルギーモニタ16cの出力ESが、主制御装置50より供給された制御情報TS中の1パルス当たりのエネルギーの目標値に対応した値となるように、高圧電源16eでの電源電圧をフィードバック制御する。また、エネルギーコントローラ16dは、レーザ共振器16aに供給されるエネルギーを高圧電源16eを介して制御することにより発振周波数をも変更する。すなわち、エネルギーコントローラ16dは、主制御装置50

からの制御情報TSに応じて光源16の発振周波数を主制御装置50で指示された周波数に設定するとともに、光源16での1パルス当たりのエネルギーが主制御装置50で指示された値となるように高圧電源16eの電源電圧のフィードバック制御を行なう。また、光源16内のビームスプリッタ16bの外側には、主制御装置50からの制御情報に応じてレーザビームLBを遮光するためのシャッタ16fも配置されている。

#### 【0033】

図1に戻り、前記照明光学系12は、ビーム整形光学系18、エネルギー粗調器20、フライアイレンズ22、照明系開口絞り板24、ビームスプリッタ26、第1リレーレンズ28A、第2リレーレンズ28B、固定レチクルブラインド30A、可動レチクルブラインド30B、光路折り曲げ用のミラーM及びコンデンサレンズ32等を備えている。

#### 【0034】

前記ビーム整形光学系18は、チャンバ11に設けられた光透過窓13を介して不図示のビームマッチングユニットに接続されている。このビーム整形光学系18は、光源16でパルス発光され光透過窓13を介して入射したレーザビームLBの断面形状を、該レーザビームLBの光路後方に設けられたフライアイレンズ22に効率良く入射するように整形するもので、例えばシリンダレンズやビームエキスパンダ（いずれも図示省略）等で構成される。

#### 【0035】

前記エネルギー粗調器20は、ビーム整形光学系18後方のレーザビームLBの光路上に配置され、ここでは、回転板34の周囲に透過率（＝1－減光率）の異なる複数個（例えば6個）のNDフィルタ（図1ではその内の2個のNDフィルタ36A、36Dが示されている）を配置し、その回転板34を駆動モータ38で回転することにより、入射するレーザビームLBに対する透過率を100%から等比級数的に複数段階で切り換えることができるようになっている。駆動モータ38は、後述する主制御装置50によって制御される。なお、その回転板34と同様の回転板を2段配置し、2組のNDフィルタの組み合わせによってより細かく透過率を調整できるようにしてもよい。



【0036】

前記フライアイレンズ22は、エネルギー粗調器20から出たレーザビームLBの光路上に配置され、レチクルRを均一な照度分布で照明するために多数の2次光源を形成する。この2次光源から射出されるレーザビームを以下においては、「露光光EL」と呼ぶものとする。

【0037】

フライアイレンズ22の射出面の近傍に、円板状部材から成る照明系開口絞り板24が配置されている。この照明系開口絞り板24には、等角度間隔で、例えば通常の円形開口より成る開口絞り、小さな円形開口より成りコヒーレンスファクタである $\sigma$ 値を小さくするための開口絞り、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置して成る変形開口絞り（図1ではこのうちの2種類の開口絞りのみが図示されている）等が配置されている。この照明系開口絞り板24は、後述する主制御装置50により制御されるモータ等の駆動装置40により回転されるようになっており、これによりいずれかの開口絞りが露光光ELの光路上に選択的に設定される。

【0038】

照明系開口絞り板24から出た露光光ELの光路上に、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ26が配置され、更にこの後方の光路上に、固定レチクルブラインド30A及び可動レチクルブラインド30Bを介在させて第1リレーレンズ28A及び第2リレーレンズ28Bから成るリレー光学系が配置されている。

【0039】

固定レチクルブラインド30Aは、レチクルRのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルR上の照明領域42Rを規定する矩形開口が形成されている。また、この固定レチクルブラインド30Aの近傍に走査方向の位置及び幅が可変の開口部を有する可動レチクルブラインド30Bが配置され、走査露光の開始時及び終了時にその可動レチクルブラインド30Bを介して照明領域42Rを更に制限することによって、不要な部分の露光が防止されるようになっている。

【0040】

リレー光学系を構成する第2リレーレンズ28B後方の露光光ELの光路上には、当該第2リレーレンズ28Bを通過した露光光ELをレチクルRに向けて反射する折り曲げミラーMが配置され、このミラーM後方の露光光ELの光路上にコンデンサレンズ32が配置されている。

【0041】

更に、照明系12内のビームスプリッタ26で垂直に折り曲げられる一方の光路上、他方の光路上には、光電変換素子よりなるインテグレータセンサ46、反射光モニタ47がそれぞれ配置されている。これらインテグレータ46、反射光モニタ47としては、例えば遠紫外域で感度があり、且つ光源16のパルス発光を検出するために高い応答周波数を有するPIN型のフォトダイオード等が使用できる。

【0042】

このようにして構成された照明系12の作用を簡単に説明すると、光源16からパルス発光されたレーザビームLBは、ビーム整形光学系18に入射して、ここで後方のフライアイレンズ22に効率よく入射するようにその断面形状が整形された後、エネルギー粗調器20に入射する。そして、このエネルギー粗調器20のいずれかのNDフィルタを透過したレーザビームLBは、フライアイレンズ22に入射する。これにより、フライアイレンズ22の射出端に多数の2次光源が形成される。この多数の2次光源から射出された露光光ELは、照明系開口絞り板24上のいずれかの開口絞りを通過した後、透過率が大きく反射率が小さなビームスプリッタ26に至る。このビームスプリッタ26を透過した露光光ELは、第1リレーレンズ28Aを経て固定レチクルブラインド30Aの矩形の開口部及び可動レチクルブラインド30Bを通過した後、第2リレーレンズ28Bを通過してミラーMによって光路が垂直下方に折り曲げられた後、コンデンサレンズ32を経て、レチクルステージRST上に保持されたレチクルR上の矩形の照明領域42Rを均一な照度分布で照明する。

【0043】

一方、ビームスプリッタ26で反射された露光光ELは、集光レンズ44を介

してインテグレータセンサ46で受光され、インテグレータセンサ46の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及びA/D変換器を介して出力DS (digit/pulse)として主制御装置50に供給される。このインテグレータセンサ46の出力DSと、ウェハWの表面上での露光光ELの照度(露光量)との相関係数は予め求められて、主制御装置50に併設されたメモリ51内に記憶されている。

#### 【0044】

また、レチクルR上の照明領域42Rを照明しそのレチクルのパターン面(図1における下面)で反射された反射光束は、コンデンサレンズ32、リレー光学系を前と逆向きに通過し、ビームスプリッタ26で反射され、集光レンズ48を介して反射光モニタ47で受光される。この反射光モニタ47の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及びA/D変換器を介して主制御装置50に供給される。反射光モニタ47は、本実施形態では、主としてレチクルRの透過率の事前測定の際に用いられる。これについては後述する。

#### 【0045】

前記レチクルステージRST上にレチクルRが載置され、不図示のバキュームチャック等を介して吸着保持されている。レチクルステージRSTは、水平面(XY平面)内で微小駆動可能であるとともに、レチクルステージ駆動部48によって走査方向(ここでは図1の紙面左右方向であるY方向とする)に所定ストローク範囲で走査されるようになっている。この走査中のレチクルステージRSTの位置は、レチクルステージRST上に固定された移動鏡52Rを介して外部のレーザ干渉計54Rによって計測され、このレーザ干渉計54Rの計測値が主制御装置50に供給されるようになっている。

#### 【0046】

なお、レチクルRに用いる材質は、使用する光源によって使い分ける必要がある。すなわち、KrF光源やArF光源を光源とする場合は、合成石英を用いることができるが、F<sub>2</sub>光源を用いる場合は、ホタル石で形成する必要がある。

#### 【0047】

前記投影光学系PLは、両側テレセントリックな光学配置になるように配置さ

れた共通のZ軸方向の光軸AXを有する複数枚のレンズエレメントから構成されている。また、この投影光学系PLとしては、投影倍率 $\beta$ が例えば $1/4$ や $1/5$ などのものが使用されている。このため、前記の如くして、露光光ELによりレチクルR上の照明領域42Rが照明されると、そのレチクルRに形成されたパターンが投影光学系PLによって投影倍率 $\beta$ で縮小された像が表面にレジスト（感光剤）が塗布されたウエハW上のスリット状の露光領域42Wに投影露光される。

## 【0048】

なお、露光光ELとしてKrFエキシマレーザ光やArFエキシマレーザ光を用いる場合には、投影光学系PLを構成する各レンズエレメントとしては合成石英等を用いることができるが、F<sub>2</sub>エキシマレーザ光を用いる場合には、この投影光学系PLに使用されるレンズの材質は、全てホタル石が用いられる。

## 【0049】

前記XYステージ14は、ウエハステージ駆動部56によって走査方向であるY方向及びこれに直交するX方向（図1における紙面直交方向）に2次元駆動されるようになっている。このXYステージ14上に搭載されたZチルトステージ58上に不図示のウエハホルダを介してウエハWが真空吸着等により保持されている。Zチルトステージ58は、ウエハWのZ方向の位置（フォーカス位置）を調整すると共に、XY平面に対するウエハWの傾斜角を調整する機能を有する。また、XYステージ14の位置は、Zチルトステージ58上に固定された移動鏡52Wを介して外部のレーザ干渉計54Wにより計測され、このレーザ干渉計54Wの計測値が主制御装置50に供給されるようになっている。

## 【0050】

また、Zチルトステージ58上には、投影光学系PLを通過した露光光ELの光量を検出するための第2の光センサとしての照射量モニタ59がその受光面をほぼウエハWの表面と同一高さとして設置されている。なお、照射量モニタに代えて、第2の光センサとして照度計、ピンホールセンサから成る照射ムラセンサ、フォトクロミック、空間像計測器等の他のセンサを設けても良い。

## 【0051】

制御系は、図 1 中、制御装置としての主制御装置 50 によって主に構成される。主制御装置 50 は、CPU（中央演算処理装置）、ROM（リード・オンリ・メモリ）、RAM（ランダム・アクセス・メモリ）等から成るいわゆるマイクロコンピュータ（又はワークステーション）を含んで構成され、露光動作が的確に行われるように、例えばレチクル R とウエハ W の同期走査、ウエハ W のステッピング、露光タイミング等を統括して制御する。また、本実施形態では、主制御装置 50 は、後述するように走査露光の際の露光量の制御も行う。

## 【0052】

具体的には、主制御装置 50 は、例えば走査露光時には、レチクル R がレチクルステージ RST を介して +Y 方向（又は -Y 方向）に速度  $V_r = V$  で走査されるのに同期して、XY ステージ 14 を介してウエハ W が露光領域 42 W に対して -Y 方向（又は +Y 方向）に速度  $V_w = \beta \cdot V$ （ $\beta$  はレチクル R からウエハ W に対する投影倍率）で走査されるように、レーザ干渉計 54 R、54 W の計測値に基づいてレチクルステージ駆動部 48、ウエハステージ駆動部 56 をそれぞれ介してレチクルステージ RST、XY ステージ 14 の位置及び速度をそれぞれ制御する。また、ステッピングの際には、主制御装置 50 ではレーザ干渉計 54 W の計測値に基づいてウエハステージ駆動部 56 を介して XY ステージ 14 の位置を制御する。

## 【0053】

また、主制御装置 50 では、上記の走査露光時には、露光条件及びレジスト感度に応じて決定された目標積算露光量をウエハ W に与えるため、インテグレートセンサ 46 の出力をモニタしつつ制御情報 TS を光源 16 に供給することによって、光源 16 の発振周波数（発光タイミング）、及び発光パワー等を制御したり、あるいは、エネルギー粗調器 20 をモータ 38 を介して制御することにより、レチクル R に照射される光量、すなわち露光量の調整を行う。また、主制御装置 50 では、照明系開口絞り板 24 を駆動装置 40 を介して制御し、更にステージ系の動作情報に同期して可動レチクルブラインド 30 B の開閉動作を制御する。

## 【0054】

このように本実施形態では、主制御装置 50 が、露光コントローラ（露光量制

御系) 及びステージコントローラ (ステージ制御系) の役目をも有している。これらのコントローラを主制御装置 50 とは別に設けても良いことは勿論である。

【0055】

次に、上述のようにして構成された本実施形態の露光装置 10 において所定枚数 (ここでは  $M=100$  枚とする) のウエハ W 上にレチクルパターンの露光を行う場合の露光シーケンスについて、主制御装置 50 内の CPU の制御アルゴリズムを示す図 3 のフローチャートに沿って説明する。

【0056】

まず、前提条件について説明する。

- ① オペレータによりコンソール等の入出力装置 62 (図 1 参照) から入力されたショット配列、ショットサイズ、各ショットの露光順序その他の必要なデータに基づいて、予めショットマップデータ (各ショット領域の露光順序と走査方向とを定めたデータ) が作成され、メモリ 51 (図 1 参照) 内に格納されているものとする。
- ② また、インテグレータセンサ 46 の出力 DS は、Z チルトステージ 58 上で像面 (即ち、ウエハの表面) と同じ高さに設置された不図示の基準照度計の出力に対して予め較正 (キャリブレーション) されている。その基準照度計のデータ処理単位は  $(\text{mJ} / (\text{cm}^2 \cdot \text{pulse}))$  なる物理量であり、インテグレータセンサ 46 の較正とは、インテグレータセンサ 46 の出力 DS (digit/pulse) を、像面上の露光量  $(\text{mJ} / (\text{cm}^2 \cdot \text{pulse}))$  に変換するための変換係数  $K_1$  (或いは変換関数) を得ることである。この変換係数  $K_1$  を用いると、インテグレータセンサ 46 の出力 DS より間接的に像面上に与えられている露光量を計測できることになる。
- ③ また、上記キャリブレーションが完了したインテグレータセンサ 46 の出力 DS に対して、エネルギーモニタ 16c の出力 ES もキャリブレーションされ、両者の相関係数  $K_2$  も予め求められ、メモリ 51 内に格納されている。
- ④ さらに、上記キャリブレーションが完了したインテグレータセンサ 46 の出力に対して反射光モニタ 47 の出力がキャリブレーションされ、インテグレータセンサ 46 の出力と反射光モニタ 47 の出力との相関係数  $K_3$  が予め求められて

メモリ 51 内に格納されているものとする。

⑤ 更に、図 1 のメモリ 51 内には、(表 1) に示されるような、露光条件の違いによる光学系透過率測定タイミングを示すテーブルデータが記憶されているものとする。また、後述するウエハ露光処理枚数を示す第 1 カウンタのカウント値  $m$  は「1」、透過率測定区間内のウエハ処理枚数を示す第 2 カウンタのカウント値  $n$  は「0」に初期設定されているものとする。

【0057】

【表 1】

	最小線幅 [nm]	150~200	200~400	400~
	露光量許容誤差 [%]	0.5	1.0	2.0
レチクル 透過率 [%] $R_t$	$0 < R_t \leq 10$	12枚	1ロット	2ロット
	$10 < R_t \leq 20$	6枚	12枚	1ロット
	$20 < R_t \leq 30$	4枚	8枚	16枚
	$30 < R_t \leq 40$	3枚	6枚	12枚
	$40 < R_t \leq 50$	2枚	4枚	9枚
	$50 < R_t \leq 60$	2枚	4枚	8枚
	$60 < R_t \leq 70$	1枚	3枚	6枚
	$70 < R_t \leq 80$	1枚	3枚	6枚
	$80 < R_t \leq 90$	1枚	2枚	5枚
	$90 < R_t \leq 100$	1枚	2枚	4枚

【0058】

この図 3 の制御アルゴリズムがスタートするのは、オペレータによりコンソール等の入出力装置 62 (図 1 参照) から照明条件 (投影光学系の開口数  $NA$ 、コ

ヒーレンスファクタ $\sigma$ やレチクルパターンの種類（コンタクトホール、ラインアンドスペース等）、レチクルの種類（位相差レチクル、ハーフトーンレチクル等）、及び最小線幅又は露光量許容誤差など）を含む露光条件が入力され、この入力に応じて、主制御装置 50 が、投影光学系 PL の不図示の開口絞りの設定、照明系開口絞り板 24 の開口の選択設定、エネルギー粗調器 20 の減光フィルタの選択、レジスト感度に応じた目標積算露光量の設定等を行い、更にレチクルロード、レチクルアライメント、ベースライン計測等の一連の準備作業が終了した時点であるものとする。

#### 【0059】

まず、ステップ 100 において、レチクルステージ RST 上にロードされたレチクル R の透過率  $R_t$  (%) を次のようにして求める。すなわち、まず、光源 16 をパルス発光させるとともにシャッタ 16f を開成して、露光光 IL によりレチクル R を照射し、そのときのインテグレータセンサ 46 と、反射光モニタ 47 との出力を取り込み、両者の比に上記の相関係数  $K_3$  を乗じ、これを 1 から減じて 100 倍することによってレチクル R の透過率  $R_t$  (%) を求める。このとき、XY ステージ 14 は、投影光学系 PL の直下と離れた所定のローディングポジションにあるため、投影光学系 PL の直下に XY ステージ 14 が存在しないので、投影光学系 PL より下方側からの反射光は、無視できる程度に小さいものと考えて差し支えない。この場合において、レチクル透過率  $R_t$  (%) をより正確に求めるために、次のようにしても良い。

#### 【0060】

すなわち、レチクル R には、レチクルの種類と、パターン密度、レチクルパターン及びレチクル自身（硝材）の反射率を示す情報を示すバーコードを設けておく。主制御装置 50 では、レチクルステージ RST 上にレチクル R がロードされる際に、そのレチクル R のバーコードを不図示のバーコードリーダを介して読み取り、メモリ 51 に記憶する。そして、主制御装置 50 では、上記と同様にして、露光光 IL によりレチクル R を照射し、そのときのインテグレータセンサ 46 と反射光モニタ 47 との出力を取り込み、これら出力とメモリ 51 内のレチクル情報とに基づいて、レチクル R の透過率  $R_t$  (%) を求める。



## 【0061】

さらに別の方法として、レチクルステージ RST 上にロードされる全てのレチクル R の透過率を測定しておき、レチクル毎にその透過率の情報をメモリ 51 に記憶しておく。そして、主制御装置 50 では、実際にレチクルステージ RST 上にロードされたレチクル R に対応する透過率の情報をメモリ 51 内から読み出し、レチクル R の透過率を求めるようにしても良い。上記のいずれの方法による場合でも、レチクル透過率を求めた後、シャッタ 16 f を閉成する。

## 【0062】

次のステップ 102 で、先にオペレータによって入力された露光条件及び上記ステップ 100 で求めたレチクル透過率 (%) に基づいて、メモリ 51 内に格納されている前述した (表 1) のテーブルを用いて、光学系の透過率、具体的には、リレーレンズ 28 A、28 B、コンデンサレンズ 32、投影光学系 PL から成る光学系の透過率測定間隔を決定する。具体的には、透過率測定をウエハ N 枚の露光終了毎に実行するものとして、その N 枚を n1 枚とするのである。例えば、最小線幅 250 nm (0.25  $\mu$ m) 又は露光量許容誤差 1.0 % でレチクル透過率が 30 % であった場合には、(表 1) のテーブルを用いて、 $N = n1 (= 8)$  を設定し、メモリ 51 に記憶する。また、例えば、最小線幅 250 nm (0.25  $\mu$ m) 又は露光量許容誤差 1.0 % でレチクル透過率が 3 % である場合には、N 枚を 1 ロットする。すなわち、1 ロットを 25 枚として、 $N = n1 (= 25)$  を設定し、メモリ 51 に記憶する。以下の説明では、 $N = n1 = 8$  であるものとする。

## 【0063】

次のステップ 104 では、光学系の透過率測定を次のようにして行う。すなわち、照射量モニタ 59 が投影光学系 PL の直下に位置するように、XY ステージ 14 をウエハステージ駆動部 56 を介して駆動し、シャッタ 16 f を開成してこのときのインテグレータセンサ 46 の出力と、照射量モニタ 59 の出力との比を 100 倍し且つ所定の係数 ( $K4$  とする) を乗じることによって行う。

## 【0064】

次のステップ 106 では、不図示のウエハ搬送系にウエハ W の交換を指示する

。これにより、ウェハ搬送系及びXYステージ上の不図示のウェハ受け渡し機構によってウェハ交換（ステージ上にウェハが無い場合は、単なるウェハロード）が行われ、次のステップ108でいわゆるサーチアライメント及びファインアライメント（EGA等）の一連のアライメント工程の処理が行われる。これらのウェハ交換、ウェハアライメントは、公知の露光装置と同様に行われるので、ここではこれ以上の詳細な説明は省略する。

## 【0065】

次のステップ110では、上記ステップ108のアライメント結果及びショットマップデータに基づいて、ウェハW上の各ショット領域の露光のための走査開始位置にウェハWを移動させる動作と、前述した走査露光動作とを繰り返し行って、ステップ・アンド・スキャン方式でウェハW上の複数のショット領域にレチクルパターンを転写する。この走査露光中に、主制御装置50により、前述した露光量制御が行われるが、この際に、ステップ104で測定された透過率と露光量制御目標値とに基づいて前述した如くして露光量制御が行われる。

## 【0066】

このようにして、第m枚目（ここでは、第1枚目）のウェハWに対する露光が終了すると、ステップ112に進んで、前述した第1カウンタのカウント値m、第2カウンタのカウント値nをそれぞれ1インクリメント（ $n \leftarrow n + 1$ 、 $m \leftarrow m + 1$ ）する。

## 【0067】

次のステップ114では、カウント値mが予定処理枚数Mを超えたか否かを判断する。第1枚目のウェハWの露光が終了した時点では、 $m = 2$ であるから当然にこの判断は否定され、ステップ116に進んでカウント値nがN、すなわち $n = 8$ であるか否かを判断する。第1枚目の露光が終了した時点では、 $n = 1$ であるからこの判断は否定され、ステップ106に戻って以後上記処理・判断を繰り返す。

## 【0068】

そして、8枚目のウェハの露光が終了すると、 $n = 8 = N$ となって、ステップ116の判断が肯定され、ステップ118に進んで第2カウンタをリセット（n

←0) した後、ステップ104に戻り、前述と同様にして光学系の透過率測定を行い、その測定結果をメモリ51に記憶、すなわち透過率の測定値を更新する。

その後、ステップ106以降の処理・判断を繰り返して、ウエハ8枚露光する度毎に、光学系の透過率測定を繰り返し行いつつ、100枚目のウエハWに対する露光が終了すると、ステップ114の判断が肯定されて、一連の露光処理を終了する。

#### 【0069】

これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、インテグレータセンサ46、照射量モニタ59及び主制御装置50によって透過率測定装置が構成されている。

#### 【0070】

以上説明したように、本実施形態によると、主制御装置50が露光条件に応じて光学系（リレーレンズ28A、28B、コンデンサレンズ32、投影光学系PLから成る光学系）の透過率の測定間隔を設定し（ステップ102）、設定された測定間隔で透過率測定を実行する（ステップ104～116）。すなわち、露光条件に応じた所定のタイミングになると、主制御装置50では、Zステージ58上の照射量モニタ59を用いて上記光学系を通過した露光光の光量を検出し、該光量とインテグレータセンサ46の出力とに基づいて光学系の透過率を求め、この求めた透過率に応じて露光量制御目標値を更新（設定）する。そして、次の透過率測定までの間は、その前に測定された透過率に応じた露光量制御目標値とインテグレータセンサ46の出力とに基づいて露光量を制御しながら、光源16からの露光光で照明されたレチクルRのパターンを投影光学系を介してウエハW上に転写する。このように、本実施形態の露光装置10によると、露光条件に応じて設定された測定間隔で光学系の透過率を測定しながら、実際に測定された透過率に基づいて露光量が制御されるため、露光条件によらず、かつ光学系の透過率変動の影響を受けることなく、ウエハ面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定して高精度な露光を実現することができる。また、透過率推定のための複雑な演算も不要である。

#### 【0071】

また、本実施形態では、主制御装置 50 がレチクル透過率  $R_t$  と最小線幅（又は露光量許容誤差）とに応じて、光学系の透過率を測定する間隔を自動的に決定する場合について説明したが（表 1 参照）、これは次のような理由による。すなわち、レチクル透過率  $R_t$  が低い場合は、投影光学系 PL 等の透過率の変化量が小さいので、光学系の透過率測定の間隔を長めにしても良く、この反対にレチクル透過率  $R_t$  が高い場合は、投影光学系 PL 等の透過率の変化量が大きくなるので、光学系の透過率測定の間隔を短くした方が良くと考えられるからである。また、最小線幅を問題としたのは露光するレイヤ（層）により、精度が重視される場合と処理速度が重視される場合とがあるからである。総合すると、本実施形態では、露光精度を十分に高く維持しつつ、スループットを可能な限り高くしようとの観点からレチクル透過率  $R_t$  と最小線幅とを基準として、光学系の透過率を測定する間隔（タイミング）を決定したものである。

## 【0072】

しかしながら、本発明がこれに限定されるものではない。すなわち、光学系の透過率は、照明系 N. A.、投影光学系 N. A.、コヒーレンスファクタ  $\sigma$  値、レチクルの種類（位相差レチクル等）、レチクルのパターン（コンタクトホール、周期パターン）等の様々な条件（広い意味での露光条件）により、振る舞いが異なることが知られており、上記のレチクル透過率  $R_t$  と最小線幅（又は露光量許容誤差）とこれらの各露光条件の任意の組み合わせに応じて、光学系の透過率を測定する間隔を自動的に決定するようにしても良いことは勿論である。例えば、レチクルの種類、レチクルのパターン等に応じて光学系透過率測定間隔を自動設定する場合には、そのレチクルの種類等の情報をバーコード等でレチクルの一部に記録し、レチクルのロード中にこれをバーコードリーダ等によって読み取り、装置がレチクル種類等を認識した時点で、測定間隔を自動的に設定するようなことも可能である。

## 【0073】

ところで、上記実施形態では定められた露光条件に応じて光学系の透過率測定間隔を決定する、換言すれば、露光条件毎に定められた間隔、例えばロット毎、所定枚数毎等で光学系の透過率測定が繰り返し行われる場合について説明したが

、連続して露光が行われる場合には、投影光学系 PL 等の透過率変化の態様は一様ではないため、この透過率の変化の態様に応じて光学系透過率測定の間隔を自動的に変更することがより望ましいと考えられる。かかる点に着目したのが、次の第 2 の実施形態である。

【0074】

#### 《第 2 の実施形態》

次に、本発明の第 2 の実施形態を図 4 に基づいて説明する。ここで、前述した第 1 の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については同一の符号を用いるとともにその説明を省略するものとする。この第 2 の実施形態は、装置構成等は、前述した第 1 の実施形態と同一であり、主制御装置 50 の機能が異なるのみであるから、以下においてはこの点を中心に説明する。

【0075】

図 4 には、第 2 の実施形態に係る主制御装置 50 の主要な制御アルゴリズムに対応するフローチャートが示されている。この図 3 を用いて、本第 2 の実施形態の露光装置により、所定枚数（ここでは  $M=1000$  枚とする）のウエハ W 上にレチクルパターンの露光を行う場合の露光シーケンスについて説明する。

【0076】

前提条件として、前述した第 1 の実施形態と同様に、予めショットマップデータがメモリ 51（図 1 参照）内に格納され、インテグレータセンサ 46 の出力の基準照度計出力に対するキャリブレーション、このキャリブレーションが完了したインテグレータセンサ 46 の出力に対するエネルギーモニタ 16c、反射光モニタ 47 の出力のキャリブレーション等が終了しているものとする。また、後述するウエハ露光処理枚数を示す第 1 カウンタのカウント値  $n$  は「1」、透過率測定間隔に対応するウエハ枚数を示す第 2 カウンタのカウント値  $n$  は「0」に初期設定されているものとする。また、この場合、露光に用いられるレチクル R の透過率  $R_t$  は予め計測されているものとする。

【0077】

この図 4 の制御アルゴリズムがスタートするのは、オペレータによりコンソール等の入出力装置 62（図 1 参照）から照明条件、レチクルパターンの種類、レ

チクルの種類、最小線幅等の露光条件が入力され、この入力に応じて、主制御装置 50 が、投影光学系 PL の不図示の開口絞りの設定、照明系開口絞り板 24 の開口の選択設定、エネルギー粗調器 20 の減光フィルタの選択、レジスト感度に応じた目標積算露光量の設定等を行い、更にレチクルロード、レチクルアライメント、ベースライン計測等の一連の準備作業が終了した時点であるものとする。

【0078】

また、以下においては、光学系の透過率測定間隔を、ウエハ 1 枚毎、5 枚毎、10 枚毎、25 枚（1 ロット）毎、50 枚（2 ロット）毎、100 枚（4 ロット）毎の 6 段階に変更するものとして、それぞれの枚数（測定間隔）を  $X_i$ （ $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ）として、便宜上表現するものとする。

【0079】

ここでは、デフォルトの設定として、光学系透過率の測定間隔が 1 ロット、すなわち  $N = X_4 = 25$  に設定され、また、露光量許容誤差（ここでは、光学系透過率変化許容値と一致するものとする）が 1 % に設定されているものとする。

【0080】

ステップ 200 において、前述したステップ 104 と同様に、照射量モニタ 59 が投影光学系 PL の直下に位置するように、XY ステージ 14 をウエハステージ駆動部 56 を介して駆動し、シャッタ 16 f を開成してこのときのインテグレートセンサ 46 の出力と、照射量モニタ 59 の出力との比を 100 倍し且つ所定の係数（ $K_4$  とする）を乗じることによって光学系の透過率を測定し、その結果を RAM の一時記憶領域に記憶する。

【0081】

次のステップ 202 では、第 1 カウンタのカウント値  $m$  が「1」であるか否かを判断する。第 1 枚目のウエハ W の露光の前は、 $m = 1$  であるから、この判断が肯定され、ステップ 204 に進んで上記ステップ 200 で一時記憶領域に記憶した光学系の透過率をメモリ 51 の所定領域に記憶する。

【0082】

その後、ステップ 219、220、224、226、228 において、前述した図 3 のステップ 106～116 と同様の処理・判断を行って、第 1 枚目～第 2

5枚目のウエハWを順次露光する。そして、1ロットの最後のウエハWの露光が終了すると、 $n = 25 = N$  となって、ステップ228の判断が肯定され、ステップ230に進んで第2カウンタをリセット ( $n \leftarrow 0$ ) した後、ステップ200に戻り、前述と同様にして光学系の透過率測定を行ってその結果をRAMの一時記憶領域に記憶し、ステップ202に進む。

#### 【0083】

このステップ202では、第1カウンタのカウント値  $m$  が「1」であるか否かを判断するが、このとき  $m = 26$  であるから、この判断が否定されてステップ206に移行する。

#### 【0084】

このステップ206では、RAM内の一時記憶領域に記憶されている今回の透過率とメモリ51内の所定領域に記憶されている前回の透過率との差（透過率の変化量）を算出し、この算出結果をRAM内の別の領域に記憶するとともに、メモリ51内の所定領域に今回の透過率を上書きして透過率を更新する。

#### 【0085】

次のステップ208では、上記ステップ206で算出した透過率の変化量が0.5%以内であるか否かを判断する。そして、この判断が肯定された場合には、ステップ210に進んで、光学系の透過率測定間隔を規定する  $X_i$  の添え字  $i$  が6であるか否かを判断する。この場合、 $N = 25 = X_4$ 、すなわち  $i = 4$  であるから、このステップ210の判断は否定され、ステップ212に進んで  $N = X_{i+1}$  に更新する。この場合、 $N = X_5 = 50$  に更新され、光学系の透過率の測定間隔が1ロット毎から2ロット毎に変更される。その後、ステップ219に移行し、2ロットのウエハWに対する露光が行われる。

#### 【0086】

一方、ステップ210の判断が肯定された場合、すなわち、 $N = X_6 = 100$  となっており、かつ透過率変化量が0.5%以内である場合には、もっとも長い透過率測定間隔が本実施形態ではウエハ100枚毎であるから、そのままステップ219に移行して、4ロットのウエハWの露光が終了する度毎に透過率の測定を繰り返し行う。

【0087】

この一方、ステップ208の判断が否定された場合、すなわち上記ステップ206で算出した透過率の変化量が0.5%を超えている場合には、ステップ214に移行し、その透過率変化量が1%以内であるか否かを判断する。そして、この判断が肯定された場合には、デフォルト設定の透過率変化の許容誤差内であるから、そのままステップ219に移行し、例えば $N = 25 = X_4$ の場合には、1ロットのウエハWに対して露光が行われる。一方、ステップ214における判断が否定された場合、すなわち上記ステップ206で算出した透過率の変化量が1%を超えている場合には、ステップ216に進んで、光学系の透過率測定間隔を規定する $X_i$ の添え字 $i$ が「1」であるか否かを判断する。ここで、 $N = 25 = X_4$ 、すなわち $i = 4$ であるとする、このステップ216の判断は否定され、ステップ218に進んで $N = X_{i-1}$ に更新する。この場合、 $N = X_3 = 10$ に更新され、光学系の透過率の測定間隔が1ロット毎から10枚毎に変更される。その後、ステップ219に移行し、10枚のウエハWに対する露光が行われる。

【0088】

一方、上記ステップ216における判断が肯定された場合、すなわち、 $N = X_1 = 1$ となっており、かつ透過率変化量が1%を超えている場合には、最も短い透過率測定間隔が設定されているにもかかわらず、透過率変化が許容値を超えているので、そのまま露光を続行したのでは要求される精度の露光ができないため、ステップ232に移行して不図示のブザー等によりオペレータに警告を発するとともに、露光動作を強制終了する。かかる事態は、何らかの異常に起因する場合だからである。

【0089】

上述のような露光処理ルーチンに従って、ウエハWに対して順次露光が行われるが、途中で強制終了される場合の除き、40ロットのウエハWに対する露光が行われ、1000枚目のウエハWの露光が終了すると、 $m = 1001$ となってステップ226の判断が肯定されて、一連の露光処理動作を終了する。

【0090】

ここで、ステップ222における走査露光中に、主制御装置50により、前述



した第1の実施形態と同様に、ステップ200で測定された透過率と所定の露光量制御目標値とに基づいて前述した如くして露光量制御が行われることは勿論である。

#### 【0091】

以上説明した本第2の実施形態によると、所定の測定間隔で光学系の透過率測定が実行され、その実際に測定された透過率に基づいて露光量が制御されるため、透過率推定のための複雑な演算を行うことなく、ウエハ面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定して露光を行うことができる。また、本第2の実施形態によると、透過率測定で得られた透過率と前回の透過率測定で得られた透過率との変動量に応じて次回以降の透過率の測定間隔が変更されることから、透過率を頻繁に測定する必要がある透過率の変化率が大きい期間では透過率測定間隔を小さくし、反対の場合には透過率測定間隔を大きくすることにより、スループットを不必要に低下させることなく、しかも高精度な露光量制御を実現することができる。

#### 【0092】

なお、上記第2の実施形態では、実際の露光が開始された後に得られた光学系の透過率の変化量に基づいて透過率の測定間隔を変更する場合について説明したが、例えば、露光処理開始前に2回以上光学系の透過率を測定し、その差に基づいて、測定間隔を自動的に設定するようにしても良い。

#### 【0093】

また、上記実施形態では、光学系透過率の測定間隔を、露光条件に応じて露光装置が自動的に設定する場合について説明したが、オペレータが露光条件等に応じてこの測定間隔を自動的に設定するようにしても良い。同様に、露光中に測定した光学系透過率をディスプレイ等に表示させて、その表示に基づいてオペレータが透過率の測定間隔を設定するようにすることも可能である。

#### 【0094】

なお、上記実施形態では、露光量の制御方法として、走査露光時に、露光条件及びレジスト感度に応じて決定された目標積算露光量をウエハWに与えるため、光源16の発振周波数（発光タイミング）、及び発光パワー等を制御したり、あ

るいは、エネルギー粗調器 20 による減光率を調整する場合について説明したが、走査型露光装置の場合には、その走査露光の際に、光源 16 のパワーを一定に保ったまま、かつレチクルステージ RST と XY ステージ 14 との速度比を保ったまま、その走査速度を変化させることによっても露光量の調整を行うことが可能である。あるいは、照明光学系 12 内の可動レチクルブラインド 30B を制御し、照明領域 42R の走査方向の幅（いわゆるスリット幅）を変化させることによっても露光量制御を実現することができる。あるいは走査速度の調整とスリット幅の調整とを組み合わせ、露光量の調整を行うことも可能である。

#### 【0095】

いずれにしても、投影光学系 PL 等の透過率変動によって、ウエハ面の照度が影響を受けるので、この影響を相殺して常に目標積算露光量がウエハ W に与えられるように、露光量制御目標値（パルス発振周波数、パルスエネルギー、減光率、走査速度、スリット幅等の制御目標値）を更新すれば良い。同様の趣旨から露光条件が変更されたとき、これに応じて上記露光量制御目標値を更新することが望ましい。

#### 【0096】

なお、本発明の露光装置は、上記第 1、第 2 の実施形態でも説明したように、光学系の透過率変動の影響を受けることなく、スループットを可能な限り維持しつつ、高精度な露光を実現できるように、露光装置を構成する各構成要素を、電氣的、機械的又は光学的に連結して組み上げられる。

#### 【0097】

また、上記第 1、第 2 の実施形態では、本発明がステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に適用された場合について説明したが、本発明の適用範囲がこれに限定されることはなく、ステッパ等の静止露光型露光装置にも好適に適用できるものである。

#### 【0098】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、請求項 1～3 に記載の各発明によれば、透過率推定のための複雑な演算を行うことなく、像面照度を常に所望の値に設定することができ

る露光量制御方法を提供することができる。

【0099】

また、請求項4に記載の発明によれば、透過率推定のための複雑な演算を行うことなく、かつスループットを不必要に低下させることなく、しかも高精度な露光量制御を実現することができる。

【0100】

また、請求項5～9に記載の各発明によれば、光学系の透過率変動の影響を受けることなく、高精度な露光を実現することができるという従来にない優れた露光装置を提供することができる。特に、請求項9に記載の発明によれば、スループットを不必要に低下させることがない。

【図面の簡単な説明】

【図1】

第1の実施形態の露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】

図1の光源の内部構成を示す図である。

【図3】

所定枚数のウエハ上にレチクルパターンの露光を行う場合の図1の主制御装置内のCPUの制御アルゴリズムを示すフローチャートである。

【図4】

第2の実施形態の露光装置における、所定枚数のウエハ上にレチクルパターンの露光を行う場合の主制御装置内のCPUの制御アルゴリズムを示すフローチャートである。

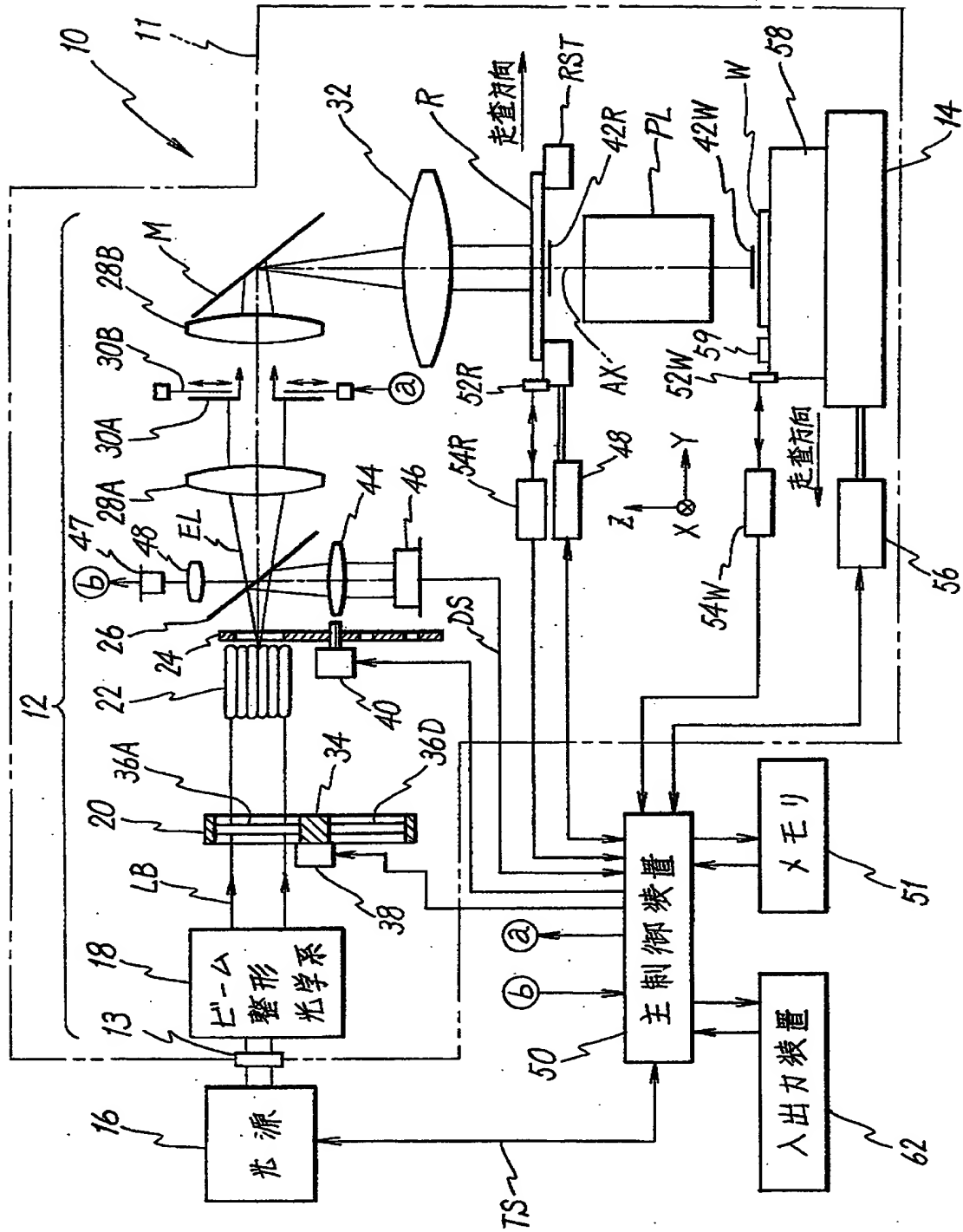
【符号の説明】

10…露光装置、16…光源、28A…リレーレンズ（光学系の一部）、28B…リレーレンズ（光学系の一部）、46…インテグレートセンサ（第1の光センサ、透過率測定装置の一部）、50…主制御装置（露光量制御系、制御装置、透過率測定装置の一部）、58…Zステージ（ステージ）、59…照射量モニタ（第2の光センサ、透過率測定装置の一部）、EL…露光光、W…ウエハ（基板）、PL…投影光学系（光学系の一部）R…レチクル（マスク）

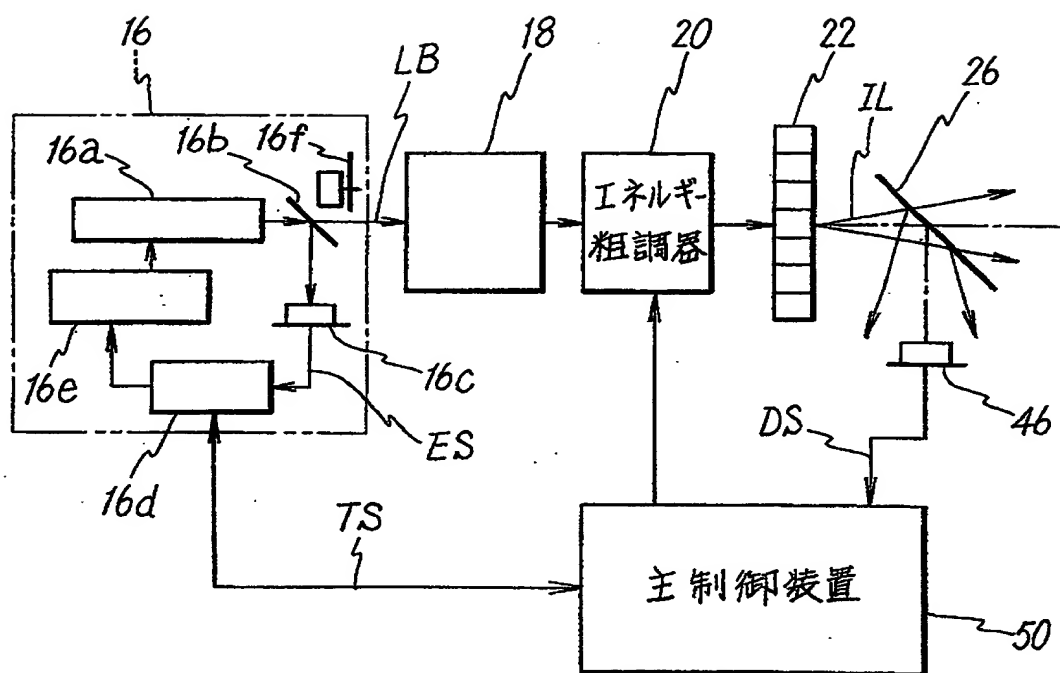
【書類名】

図面

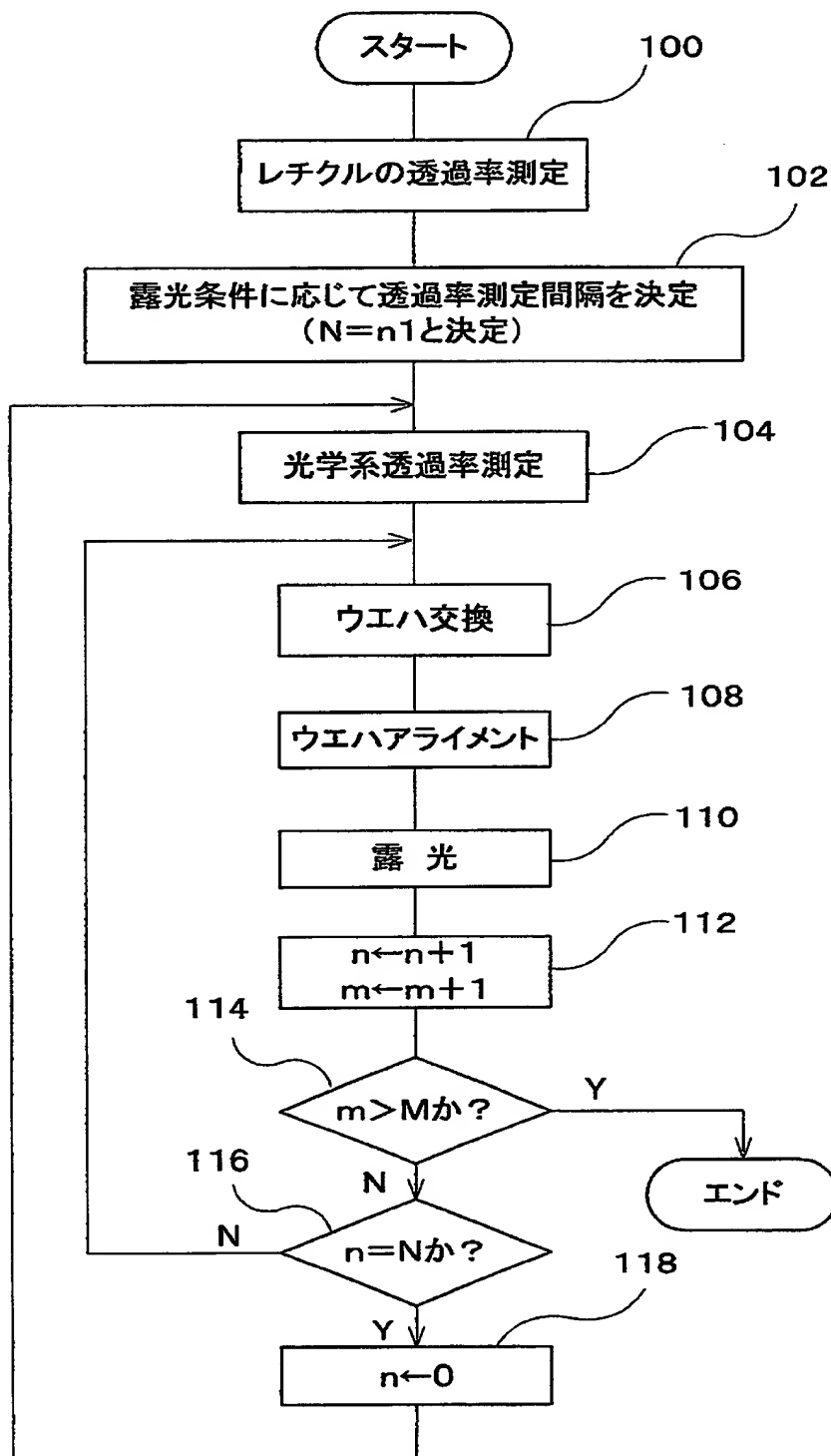
【図 1】



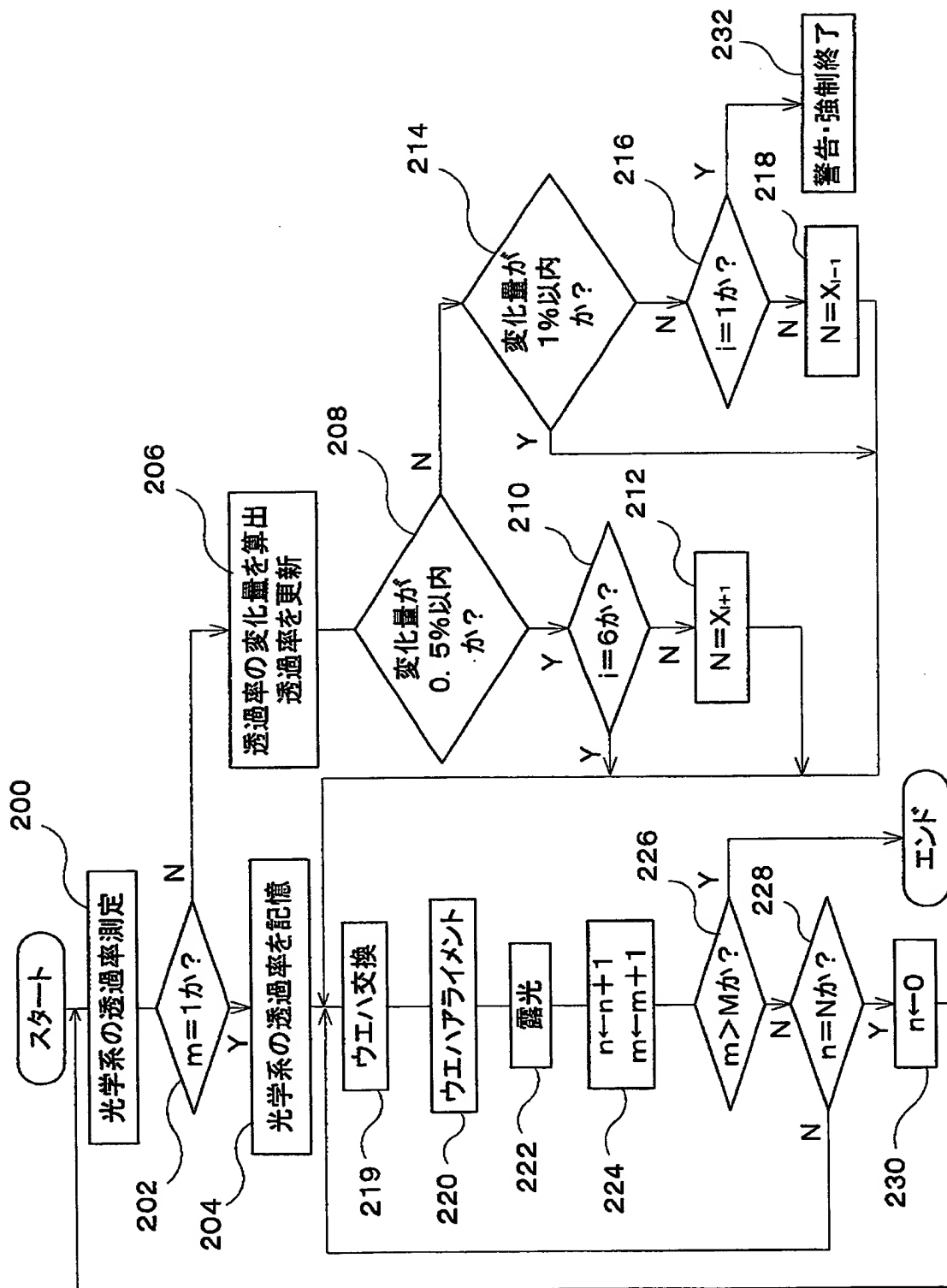
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 透過率推定のための複雑な演算を行うことなく、像面照度を常に所望の値に設定する。

【解決手段】 露光条件に応じて光学系の透過率の測定間隔を設定し（ステップ 102）、設定された測定間隔で透過率測定を実行する（ステップ 104～116）。そして、次の透過率測定までの間は、その前に測定された透過率に応じて露光量を制御しながら、光源からの露光光で照明されたパターンを基板上に光学系を介して転写する（ステップ 110）。このように、露光条件に応じて設定された測定間隔で光学系の透過率の測定し、その実際に測定された透過率に基づいて露光量が制御されるため、露光条件によらず、基板面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定して露光を行うことができ、しかも透過率推定のための複雑な演算も不要である。

【選択図】 図 3



【書類名】 職権訂正データ  
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】 000004112  
【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号  
【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代理人】 申請人

【識別番号】 100102901  
【住所又は居所】 東京都新宿区新宿 5-1-15 新宿MMビル 立  
石・川北国際特許事務所

【氏名又は名称】 立石 篤司

【代理人】 申請人

【識別番号】 100099793  
【住所又は居所】 東京都新宿区新宿 5-1-15 新宿MMビル 立  
石・川北国際特許事務所

【氏名又は名称】 川北 喜十郎

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
氏 名	株式会社ニコン